

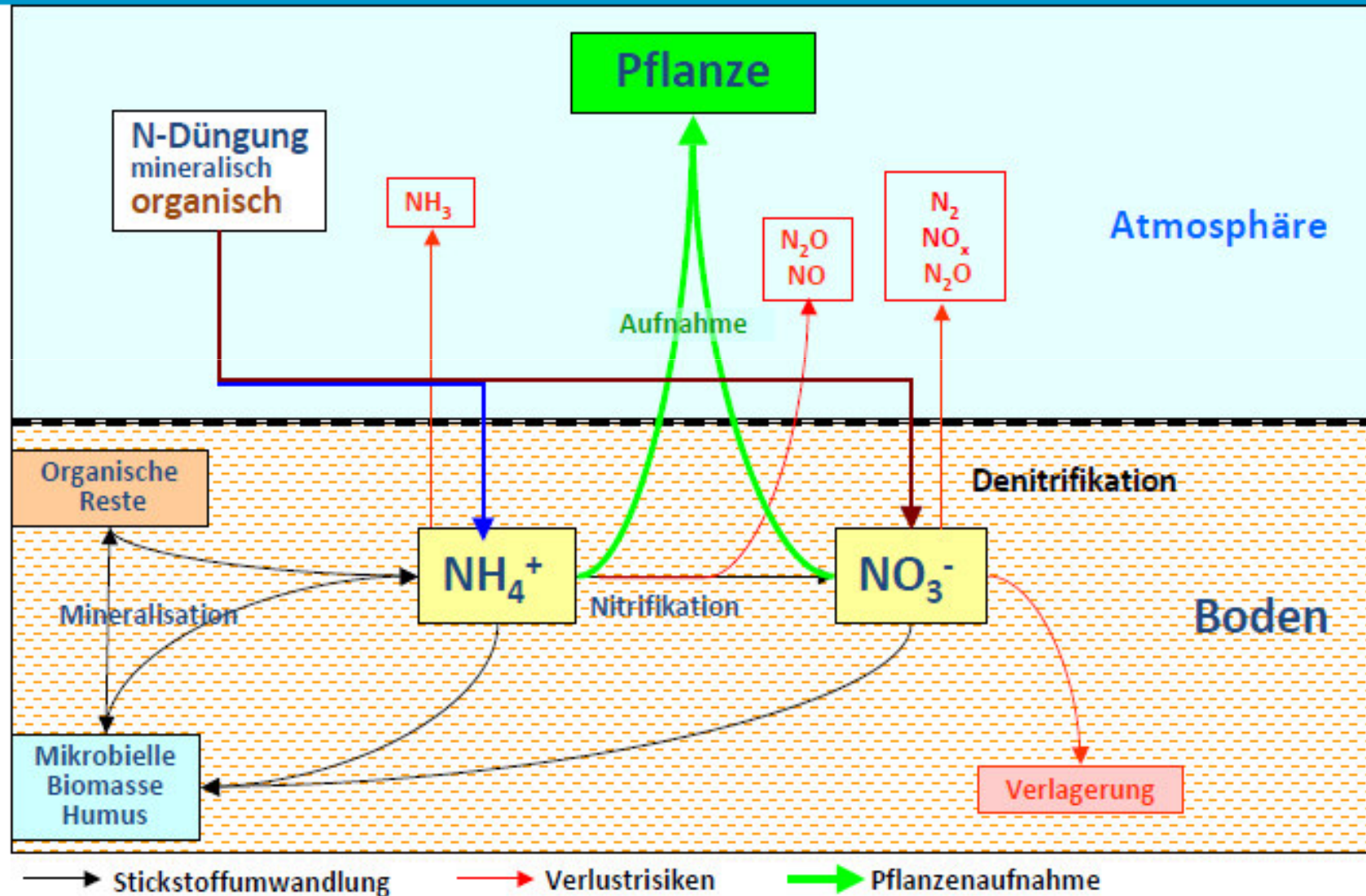
Wirkung von Nitrifikations- und Urease-Hemmern in der mineralischen und organischen Düngung

Grundberatung Gewässerschutz-Kooperationen 2018

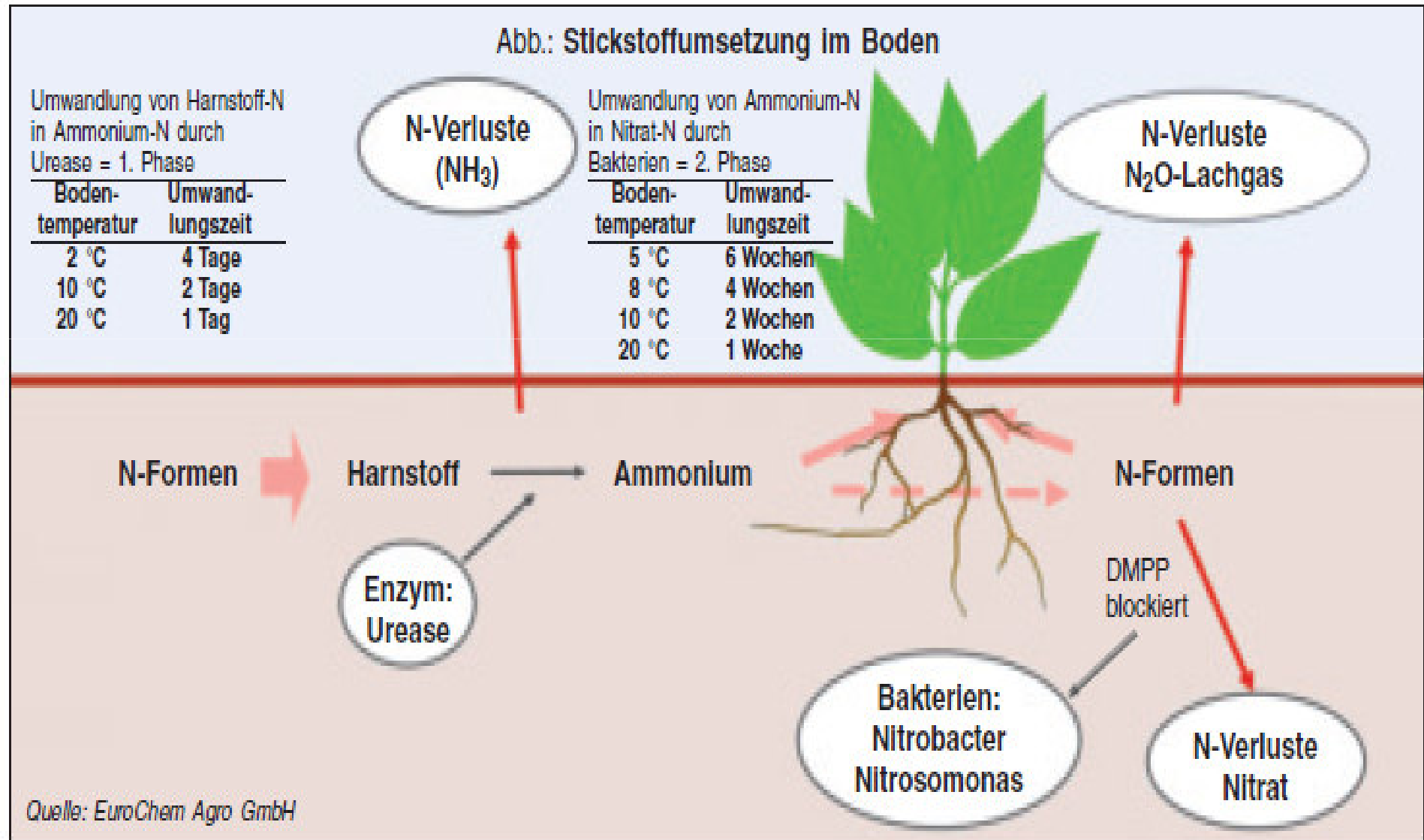
Dr. Thomas Werner, MSc. Mireen Müller, MSc. Lukas Sattler,
JenaBios GmbH

1. Grundlagen

Vereinfachter N-Kreislauf und spezielle umweltrelevante N-Verlustrisiken (FUCHS et al., 2011)



Umsetzungsschritte von Harnstoff und Ammonium im Boden (FUCHS, Landwirt Heft 2, 2015)



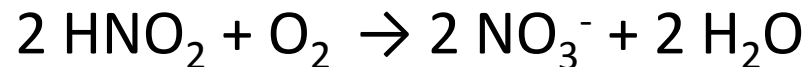
Nitrifikation im Boden

- Schritt 1: Ammonium-Oxidation durchgeführt durch Nitrosomonas



Nitrifikationshemmer „blockieren“ i.d.R. diese Reaktion

- Schritt 2: Nitrit-Oxidation durchgeführt durch Nitrobacter und Nitrospira



- Summe

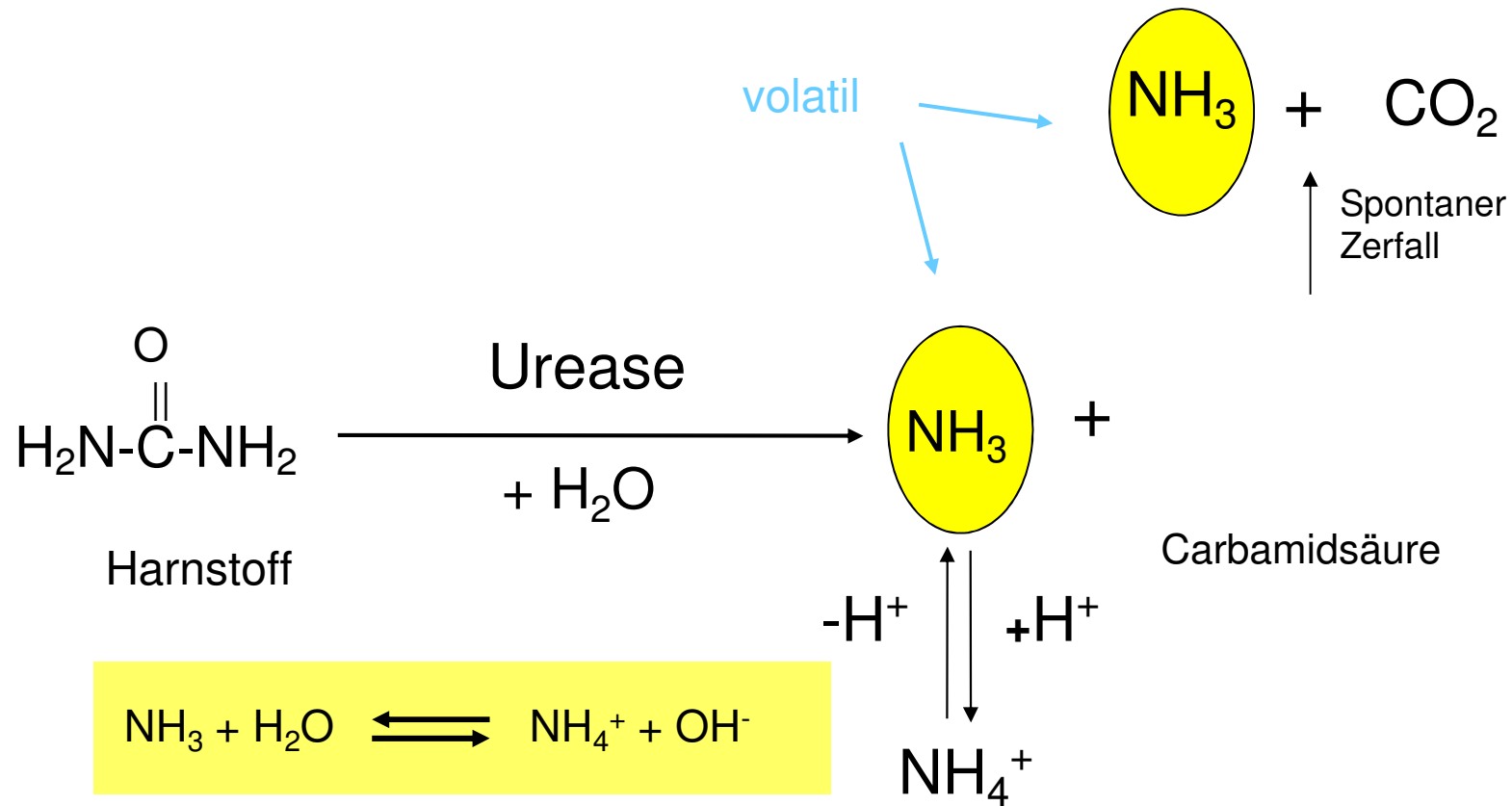


In Deutschland zugelassenen Nitrifikations-Inhibitoren

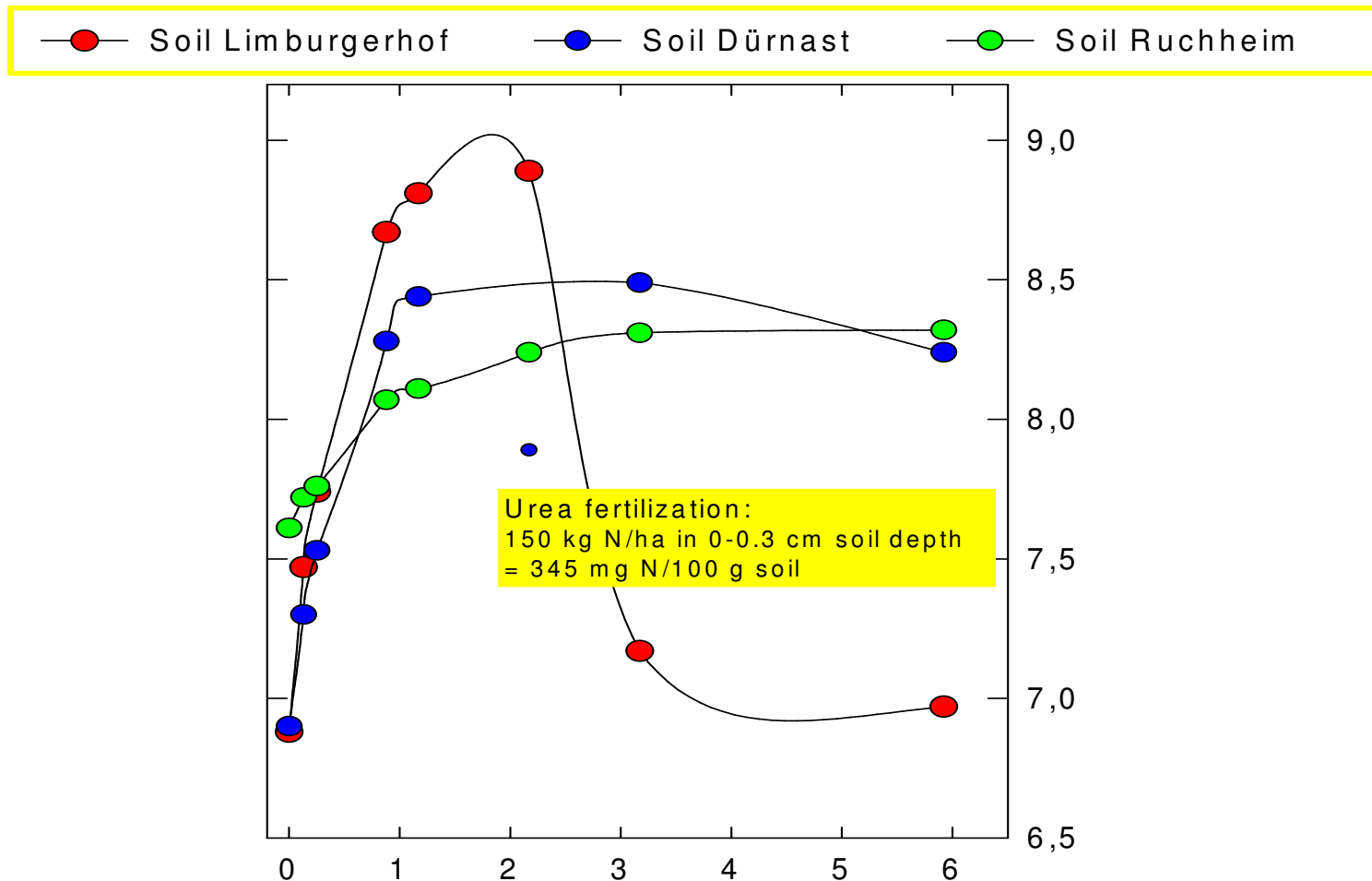
(in Anlehnung an FUCHS et al., 2011)

Wirkstoff		Produkt	Gülle Einsatzschwerpunkt
DCD	Dicyandiamid	DIDIN abgelöst durch Neuentwicklungen	Gülle Düngergranulate
DCD/ATS	Dicyandiamid + Ammoniumthiosulfat	abgelöst durch Neuentwicklungen	Flüssigdünger, Gülle
DCD/3-MP (15:1)	Dicyandiamid + 3-Methylpyrazol	abgelöst durch Neuentwicklungen	Flüssigdünger
DCD/Triazol (10:1)	Dicyandiamid + 1H-1,2,4-Triazol	ALZON 46	Düngergranulate
3,4-DMPP	3,4-Dimethyl- pyrazolphosphat	Entec Vizura	Düngergranulate, Gülle, Gärreste
Triazol/ 3-MP (2:1)	1H-1,2,4-Triazol + 3-Methylpyrazol	ALZON flüssig, PIADIN	Flüssigdünger, Gülle, Gärreste
Nitrapyrin (2-Chlor-6-(trichlormethyl)pyridin)		N-Lock	Gülle, Gärreste

Chemie der Harnstoff-Umwandlung im Boden (BASF, 2018)



Änderung des pH-Wertes nach Harnstoff-Applikation in drei verschiedenen Böden im Modell-Versuch (BASF, 2018)



Urease-hemmende Verbindungen (SUTTON, A. 2005)

- • NBTPT (or NBPT): N-(n-butyl) thiophosphoric triamide
- BNPO (or NBPTO): N-(n-butyl) phosphoric triamide
- TPT: thiophosphoryl triamide
- • PPD/PPDA: phenyl phosphorodiamidate
- CHTPT: cyclohexyl thiophosphoric triamide
- CNPT: cyclohexyl phosphoric triamide
- PT: phosphoric triamide
- HQ: hydroquinone
- P-benzoquinone
- HACTP hexaamidocyclotriphosphazene
- Thiophyridines, thiophyrimidines, thiophyridine-N-oxides
- NN-dihalo-2-imidazolidinone
- N-halo-2-oxazolidinone

Ureasehemmer-haltige N-Dünger (Harnstoff o. Harnstoff/SSA-Gemische, ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

- LIMUS Yellow 46 N (LIMUS-System der BASF)
auch Zugabe zu Flüssig-Düngern NBPT+NPPT
- Novurea 46 N, Novurea S (38+7,5 S), (TRIFERTO) NBPT
- FertiFlow (verschiedene; Zugabe zu AHL) (CERAVIS, TRIFERTO)
NBPT
- Agrotain Ultra (USA) NBPT
- Alzon neo-N (46 N), Piagran Pro (46 N), Piazur 46 (SKW) 2-NPT
- Urea Stabil (46 N) Agra Group; Chech. Rep.) NBPT

2. Ertrags- und Umweltwirkungen Nitrifikations-Hemmer

**Auswirkung unterschiedlicher N-Düngungssysteme auf
Kornertrag, RP-Gehalt, Bestandsdichte und Lagerneigung
bei Winterweizen (32 Versuche auf 17 Standorten 1999 –
2003; KNITTEL et al.; 2007)**

N-Düngesystem kg N ha ⁻¹	Ertrag dt ha ⁻¹	Rohprotein %	Bestandes- dichte Ähren m ⁻²	Lager 0–100%
Ungedüngt 0 + 0 + 0/0	55,9 c	9,7 c	366 c	0 a
ASS ¹ + ASS + KAS ² 60 + 40 + 40/40	85,5 a	13,4 a	502 b	4 ab
ENT ³ 180 + 0 + 0/0	83,7 b	12,4 b	573 a	17 b

Reaktion von Winterweizen auf unterschiedliche N-Verteilung in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge/a (KNITTEL et al. 2007)

N-Düngesystem	Niederschläge am Standort							
	< 620 mm (429–614) n=16				> 620 mm (651–952) n=16			
kg N ha ⁻¹	Ertrag dt ha ⁻¹		Rohprotein %		Ertrag dt ha ⁻¹		Rohprotein %	
ohne N 0 + 0 + 0/0	55,0	c	10,6	b	52,6	c	10,1	c
ASS ¹ + ASS + KAS ² 60 + 40 + 40/40	76,9	b	13,2	a	86,2	b	12,9	a
KAS + ENT ³ 60 + 120 + 0/0	80,5	a	13,1	a	89,3	a	12,7	ab
ENT + KAS 120 + 60 + 0/0	75,7	b	13,1	a	87,2	ab	12,5	b

Prüfung stabilisierter N-Dünger zu Winterweizen; Versuchsserie aus 7 Orten in 3 Jahren; LfL Bayern; HEGE und OFFENBERGER, 2004)

Var.	Dünger- form	ges. N- Menge (kg N/ha)	N-Verteilung (kg N/ha)	Korn- ertrag (dt/ha)	Rohpro- tein (%)
5	KAS	160	60/40/60	81,5	13,0
8	ENTEC	160	80/80	81,5	12,0
10	ALZON	160	80/80	81,6	12,3

Winterweizen „Ritmo“, Bernburg 1998...2002

Vergleich bei gleicher N-Menge aber ungleicher Gabenteilung ¹⁾

Jahr	N-Düngung (kg/ha N)	Kornertrag (dt/ha)				Rohproteingehalt (%)			
		KAS	ENTEC	Diff.	GD ²⁾	KAS	ENTEC	Diff.	GD ²⁾
1998 :	120 N	92,9	88,4	- 4,5	5,0	11,9	11,4	- 0,5	1,1
	160 N	88,3	89,0	+0,7	8,5	12,8	12,6	- 0,2	1,0
1999 :	120 N	112,2	108,0	- 4,2	8,6	10,6	10,7	+0,1	0,9
	160 N	111,0	111,2	+0,2	9,2	11,0	10,7	- 0,3	0,3
2000 :	200 N	93,1	90,8	- 2,3	13,2	13,0	12,6	- 0,4	0,6
2001 :	200 N	107,0	106,1	- 0,9	4,7	11,6	11,4	- 0,2	1,4
2002 :	200 N	87,8	86,8	- 1,0	5,5	11,8	12,0	+0,2	0,5
Mittel:		98,9	97,2	-1,7	1,8	11,8	11,6	-0,2	0,2

¹⁾ Aufteilung ENTEC mit Schwerpunkt 1. Gabe bzw. eine Gabe weniger als KAS-Ausbringung

²⁾ GD (t) mit $\alpha = 5 \%$

N-Düngerformenvergleich in Wintergerste (HEYN u. WITZEL, 1988)

	N-Aufwand (kg N/ha)					
		KAS	HS	AHL	ALZON	GD (5%)
Ertrag (dt/ha)	70+60	66,3	66,4	63,9	67,1	2,9
	100+60	59,8	62,3	64,6	62,5	
Bestandsdichte (Ähren/m ²)	70+60	600	538	532	551	54
	100+60	603	615	557	629	
HLG (kg/hl)	70+60	66,7	66,4	66,4	66,4	
	100+60	65,0	65,2	67,2	65,5	

Auswirkung unterschiedlicher N-Düngungsstrategien auf Ertrag, Bestandsdichte und HLG in Wintergerste (LWK Schleswig-Holstein, OBENAUF, 2011)

N - Intensität in Wintergerste - Futterkamp 2008 - 2010

Variante / N-Menge Jahr	Ertrag dt/ha (rel.)*			Mittel 2008 - 2010
	2008	2009	2010	
ortsüblich, 3 N-Gaben 50+80+60=190 N	128,7	119,3	119,9	122,6
ortsüblich + 30 N, 3 N-Gaben 80+80+60=220 N	104	101	100	102
2 N-Gaben 80+110 (EC 30)= 190 N	101	97	103	100
1 N-Gabe (NTS) Veg.beginn 190 N	100	99	99	99
1 N-Gabe (Alzon S) Veg.beginn 190 N	98	103	98	100
GD 5 % (rel.)	2	2	4	

Variante / N-Menge Jahr	Ähren pro qm*			Mittel 2008 - 2010
	2008	2009	2010	
ortsüblich, 3 N-Gaben 50+80+60=190 N	659	575	605	613
ortsüblich + 30 N, 3 N-Gaben 80+80+60=220 N	751	558	641	650
2 N-Gaben 80+110 (EC 30)= 190 N	717	549	666	644
1 N-Gabe (NTS) Veg.beginn 190 N	735	583	575	631
1 N-Gabe (Alzon S) Veg.beginn 190 N	786	600	618	668

Variante / N-Menge Jahr	Hektolitergewicht* in kg/hl			Mittel 2008 - 2010
	2008	2009	2010	
ortsüblich, 3 N-Gaben 50+80+60=190 N	69,5	65,7	65,1	66,8
ortsüblich + 30 N, 3 N-Gaben 80+80+60=220 N	69,1	66,6	64,0	66,6
2 N-Gaben 80+110 (EC 30)= 190 N	68,5	66,9	66,6	67,3
1 N-Gabe (NTS) Veg.beginn 190 N	69,0	66,1	66,6	67,2
1 N-Gabe (Alzon S) Veg.beginn 190 N	68,9	66,8	67,9	67,9

* - Mittel aus 2 Sorten (2008, 2009: Lomerit, Fridericus; 2010: Lomerit, Souleyka)

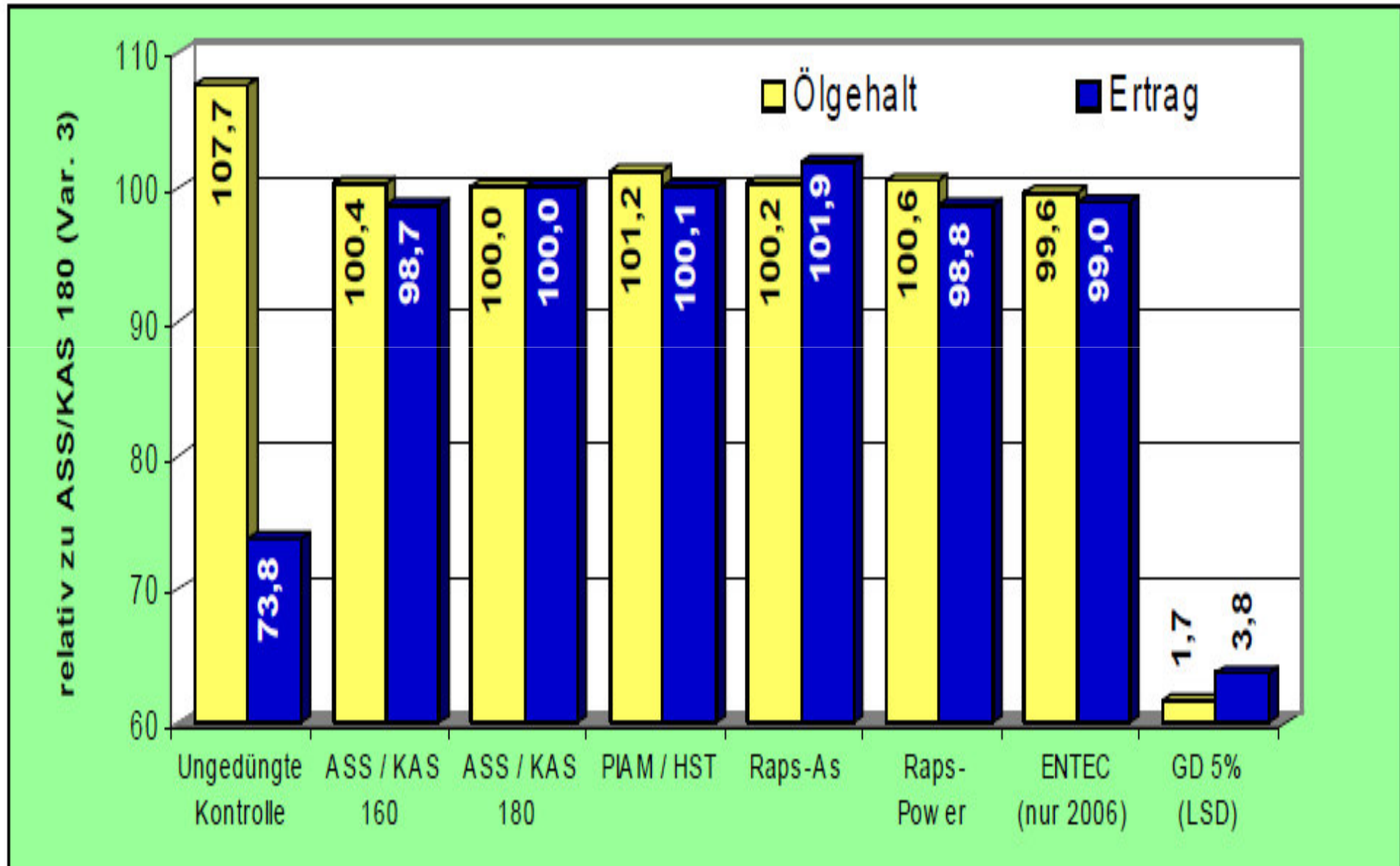
LK Pflanzenbau/Of

Auswirkung unterschiedlicher N-Düngungssysteme auf Ertrag und Marktleistung im Winterraps (LfLF Meck.-Pom. SCHULZ, 2008)

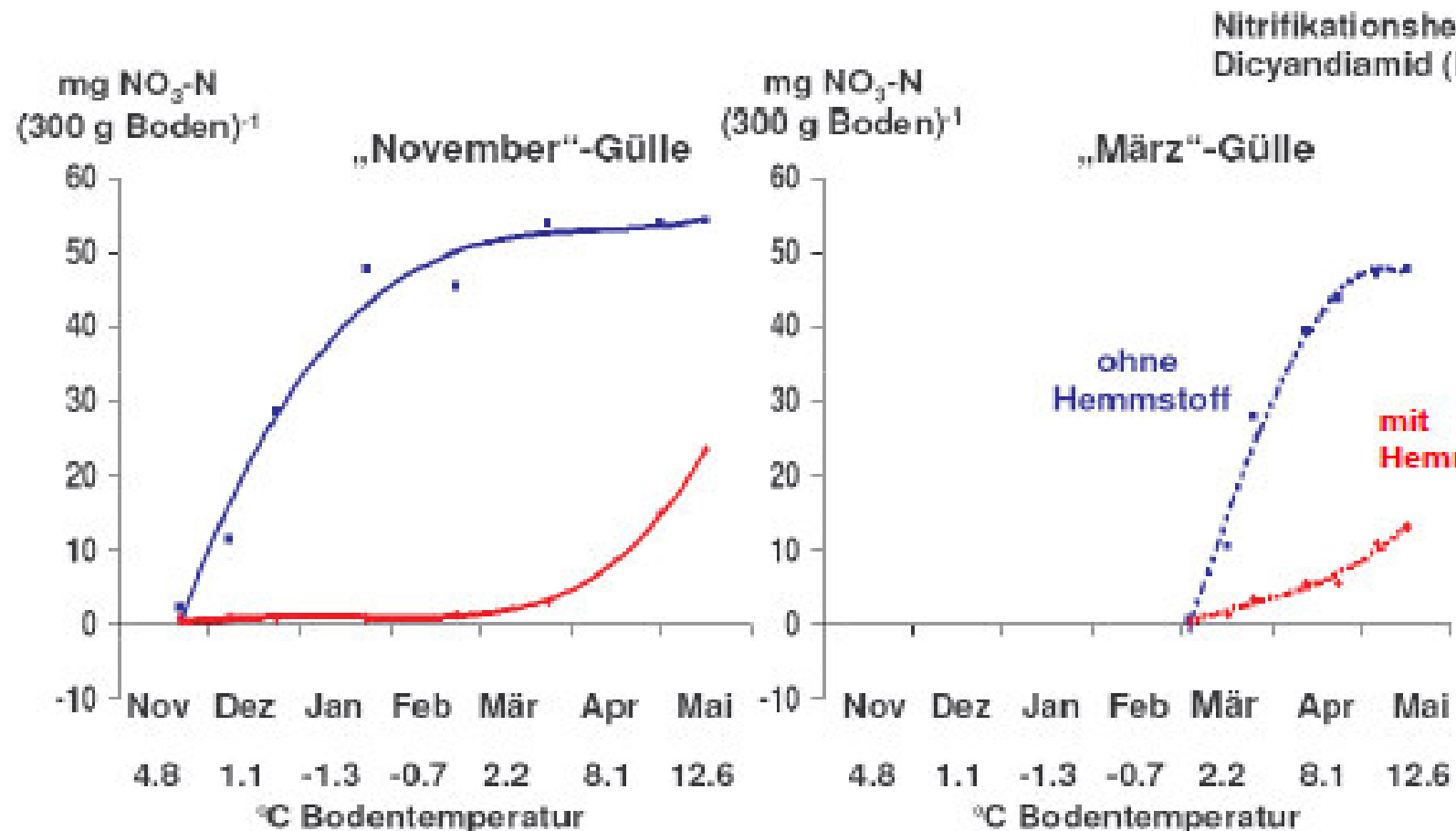
Variante/Düngemittel	Kornertrag %		Marktleistung abzüglich Düngungskosten* %	
	Gülzow	Vipperow	Gülzow	Vipperow
1 Harnstoff	97	95	98	97
2 Harnstoff+ssA	99	96	100	98
3 Piamon 33-S+Piagran	98	99	99	101
4 Piamon 33-S+Piagran geteilt	100	99	101	100
5 Alzon 46+Piamon 33-S	101	98	101	99
6 ssA (1a-Gabe)+Alzon 46	99	98	99	97
7 Harnstoff+Kieserit	100	96	100	96
8 Optimag+KAS	103	106	102	105
9 ASS+KAS	102	107	102	106
10 KAS+ENTEC 26	101	105	100	102
Versuchsmittel abs.	56,7 dt/ha	44,1 dt/ha	1435 €/ha	1108 €/ha
GD 5 %	7,2	4,8		

* berechnet für Rapspreise von 31 €/dt und Berücksichtigung des Rohfettgehaltes, Düngemittelpreise von 10/2007,

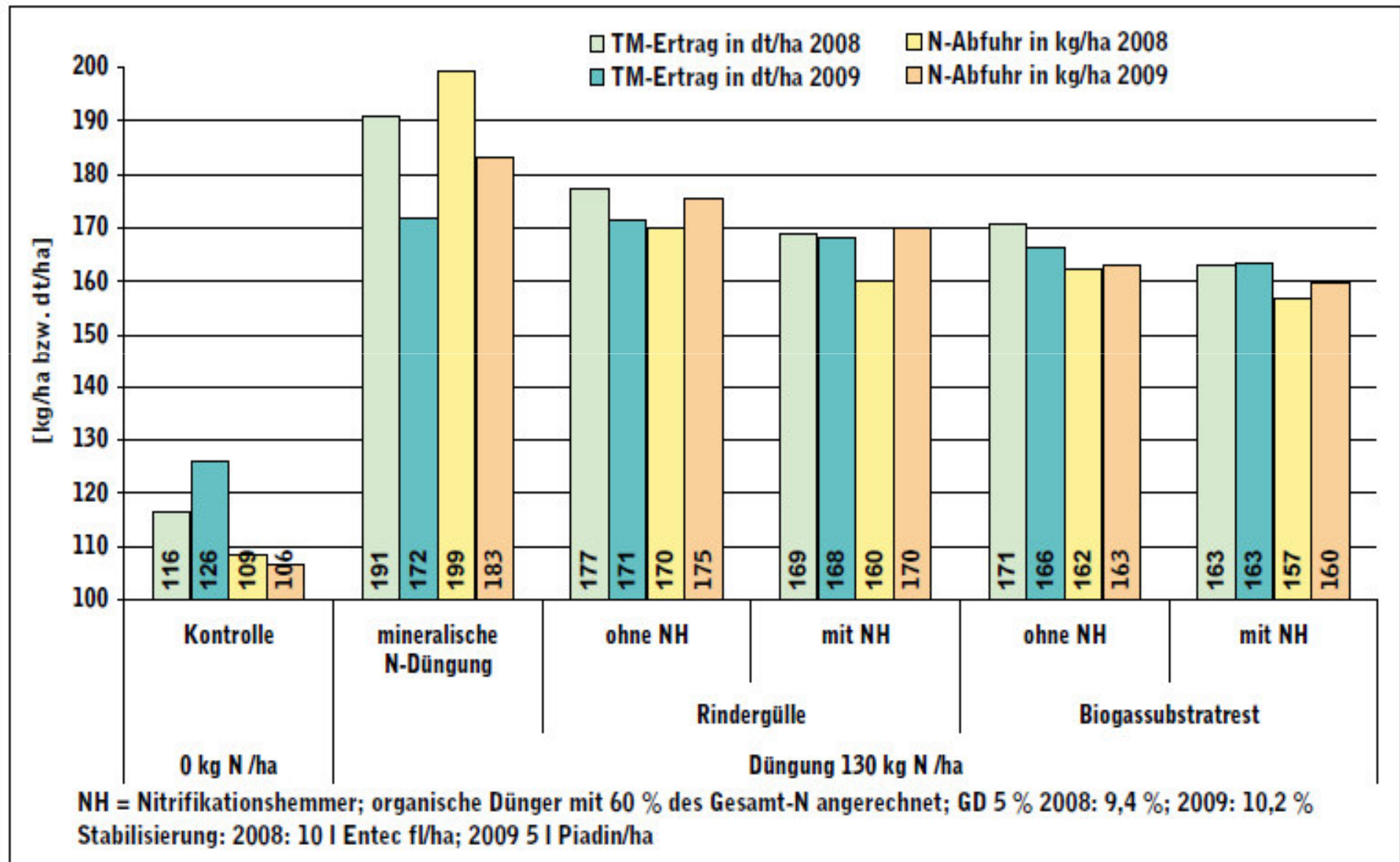
Ertrag und Ölgehalt von Winterraps in unterschiedlichen N-Düngungssystemen (OLFS, 2007)



Nitrifikation von Rindergülle mit und ohne Nitrifikationshemmstoffe

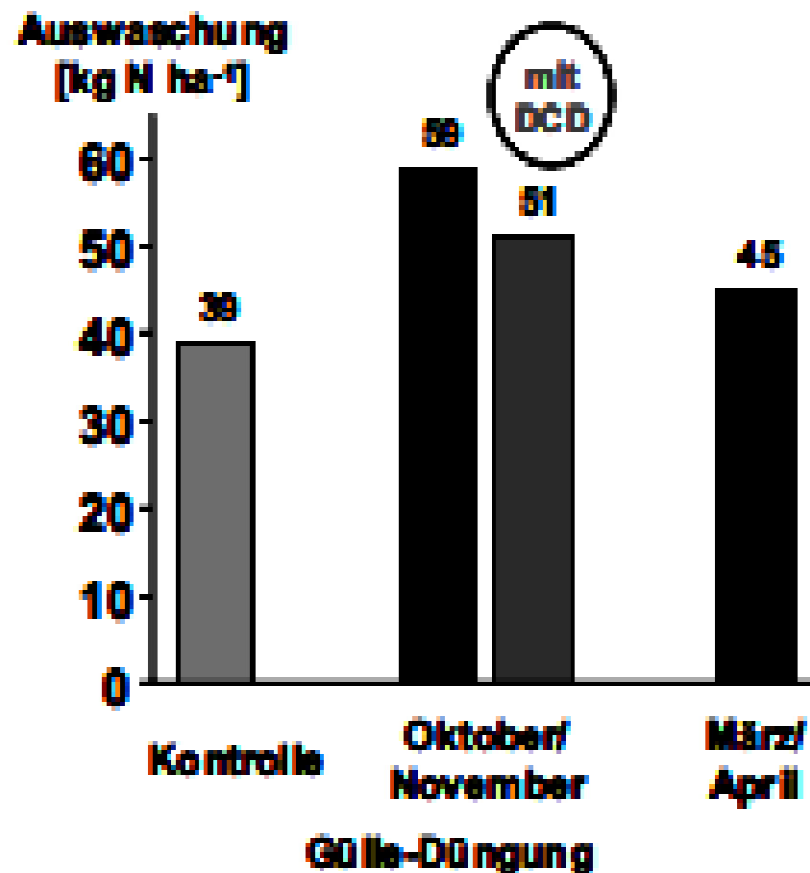


Wirkung von Nitrifikationshemmern zu flüssigen organischen Düngern bei deren Anwendung im Frühjahr zu Mais (LAUSEN, 2010)

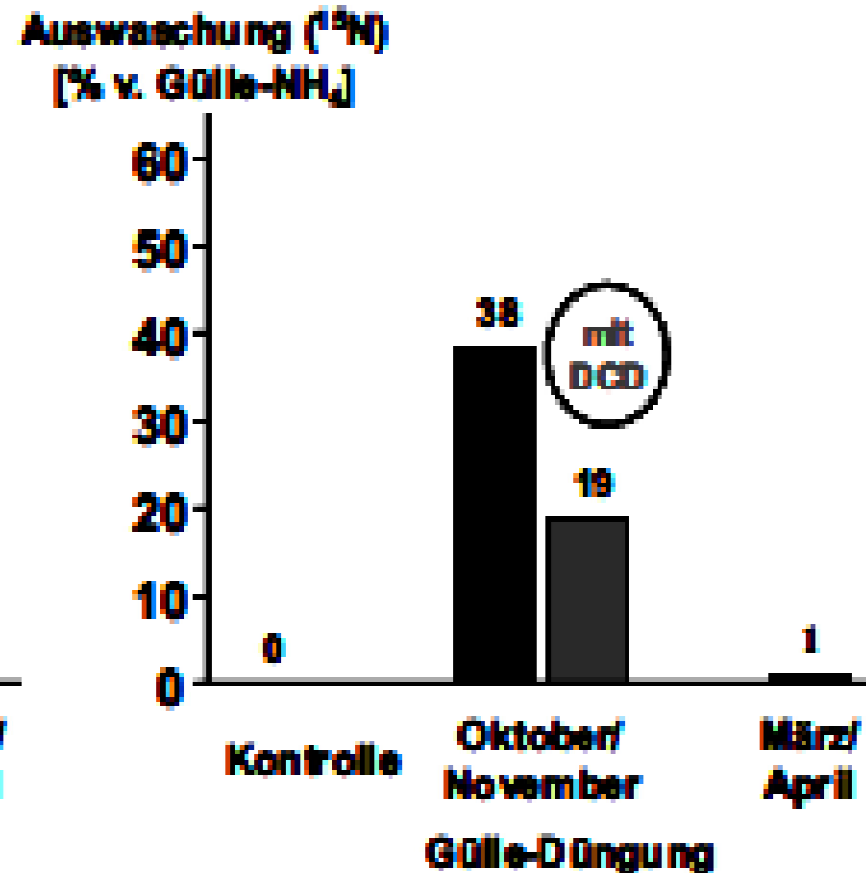


Minderung von N-Auswaschungsverlusten nach Gülleanwendungen im Herbst (GUTSER u. EBERTSEDER, 2005)

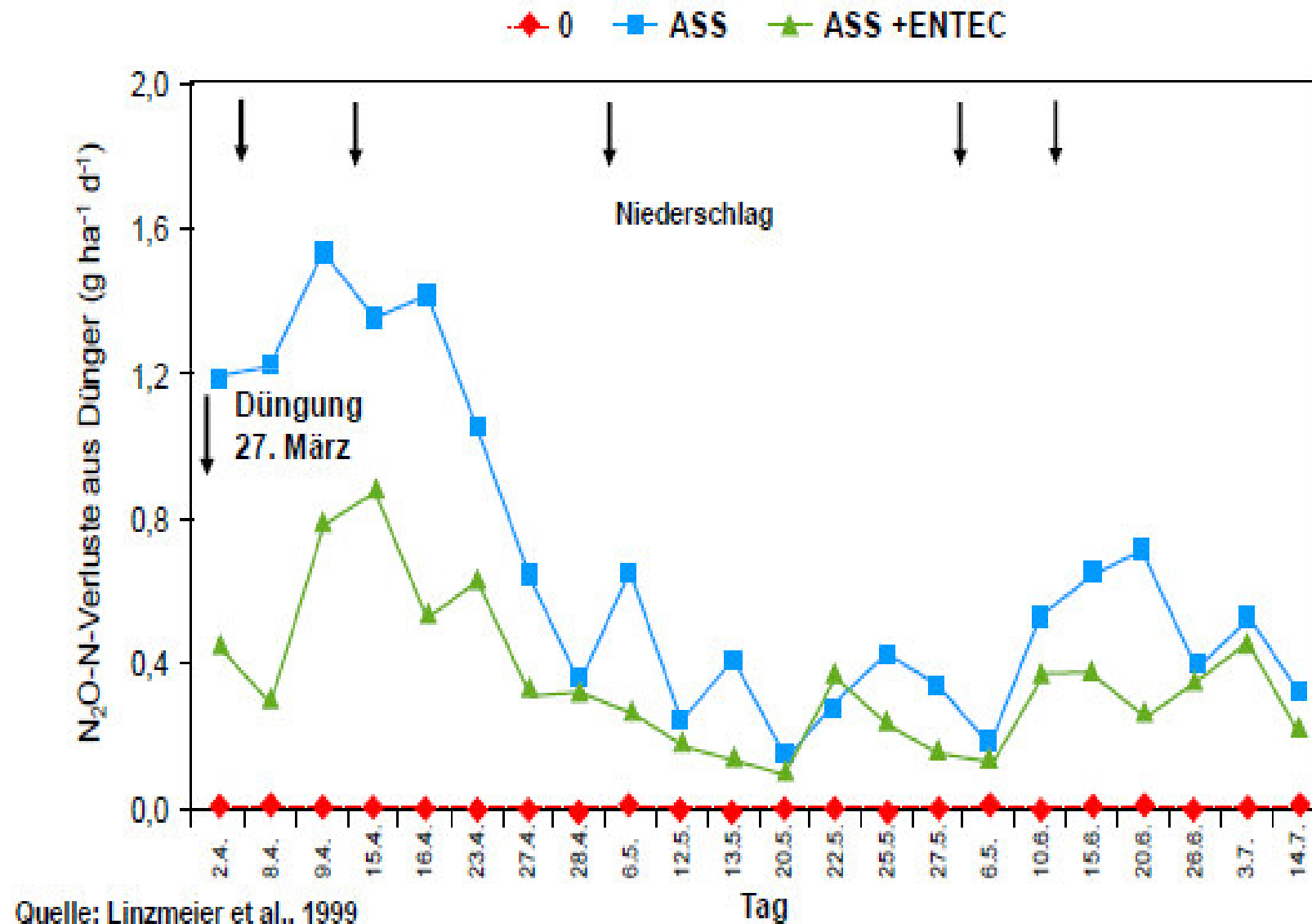
Mittel 1983 – 1991
Stokierung Okt. – März Ø 189 mm



1987/88 (nasser Herbst/Winter)
Stokierung Okt. – März: 291 mm



Auswirkung unterschiedlicher Düngungssysteme auf die Lachgasemissionen auf einem Sandboden (ZERULLA, 2010)



3. Ertrags- und Umweltwirkung Urease-Hemmer

Wirkung vom LIMUS auf den Ertrag und Rohprotein-Gehalt von Winterweizen (BASF, 2018)

Gesamtmenge an N/ha nach DüV		N-Düngung kg N/ha				Kornertrag		% Rohpr.	
je nach Standort: 200 - 220 kg N/ha						MW 7 Vers.		MW 5 Vers.	
Var.	Varianten Dünger	total N	Veg.- Beg.	ES 31/32	ES 39/49	dt/ha	rel.	% Rohpr.	rel.
1	unbehandelt	-	-	-	-	74,9	100	10,4	100
2	KAS	100%	80	50	70	96,5	129	13,4	129
3	Harnstoff ohne Limus	100%	100	50	50 KAS	95,9	128	12,7	122
4	Harnstoff + LIMUS	100%	100	50	50 KAS	97,1	130	12,7	122
5	Harnstoff ohne Limus	75%	60	40	50 KAS	92,5	124	12,0	115
6	Harnstoff + LIMUS	75%	60	40	50 KAS	95,6	128	12,1	117
7	AHL 1. D. ohne Wasser, 2. D. mit Wasser	100%	100	50	50 KAS	94,8	127	12,4	119
8	AHL + Limus 1. D. ohne Wasser, 2. D. mit Wasser	100%	100	50	50 KAS	96,9	129	12,6	121

Kornertrag und N-Entzug in Winterweizen (15 Feldversuche) nach Einsatz von Harnstoff mit UI- und Ni-Hemmer (FUCHS et al., 2017)

Düngemittel	Kornertrag (relativ)	Rohprotein (%)	N-Entzug (relativ)	N-Effizienz (%)
ohne N	55	9,1	39	-
HS	100	13,3	100	64
	(106,5 dt/ha)		(211,0 kg N/ha)	
HS + UI/NI	102	13,6	104	69
t-Test; $\alpha = 0,05$	2,3	0,3	2,4	

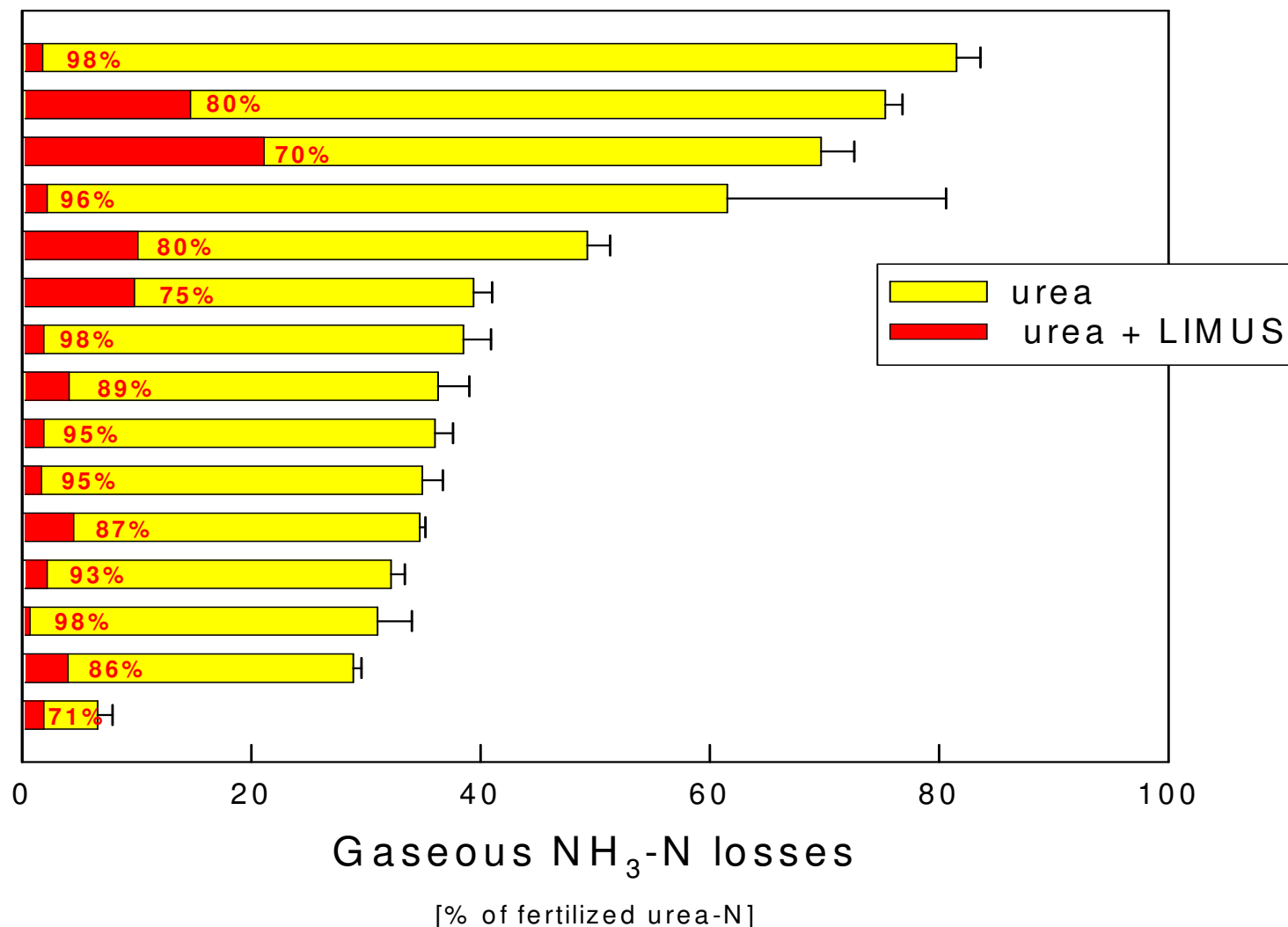
Kornertrag und N-Entzug in Winterraps (13 Feldversuche) nach Einsatz von Harnstoff mit UI- und NI-Hemmer (FUCHS et al., 2017)

Düngemittel	Samenertrag (relativ)	N-Entzug (relativ)	N-Effizienz (%)
HS	100 (43,7 dt/ha)	100 (125,3 kg N/ha)	19
HS+UI/NI	101,4	103,4	22
t-Test; $\alpha=0.05$	1,15	3,04	

(Sehr) vorsichtiges Fazit aus den wenigen verfügbaren Daten:

Es sind keine Ertragsverluste zu befürchten.

Gasförmige NH_3 -N Verluste aus Harnstoff und Harnstoff mit Limus 14 Tage nach der Applikation. Effekte unter Laborbedingungen auf Böden von verschiedenen Europäischen Ländern (D, F, I, E); BAS. 2018



N-Austräge im Gefäßversuch unter Auswaschungsbedingungen unter verschiedenen Fruchtarten (KREUTER et al., 2017)

Tab. 2: N-Austräge unter Auswaschungsbedingungen nach Düngung von HS + UI/NI und KAS (3 GV mit Hafer, S-Weizen, Mais)

	N-Austrag (mg/Gefäß)			
	ohne N	KAS	HS + UI/NI	HSD
GV mit Hafer (2016)	62	415	141 *	69,6
GV mit S-Weizen (2016)	3	240	130 *	65,3
GV mit Mais (2016)	32	305	184 *	112,7

* signifikante N-Auswaschungsminderung gegenüber KAS (Tukey Test; $\alpha = 0,05$)

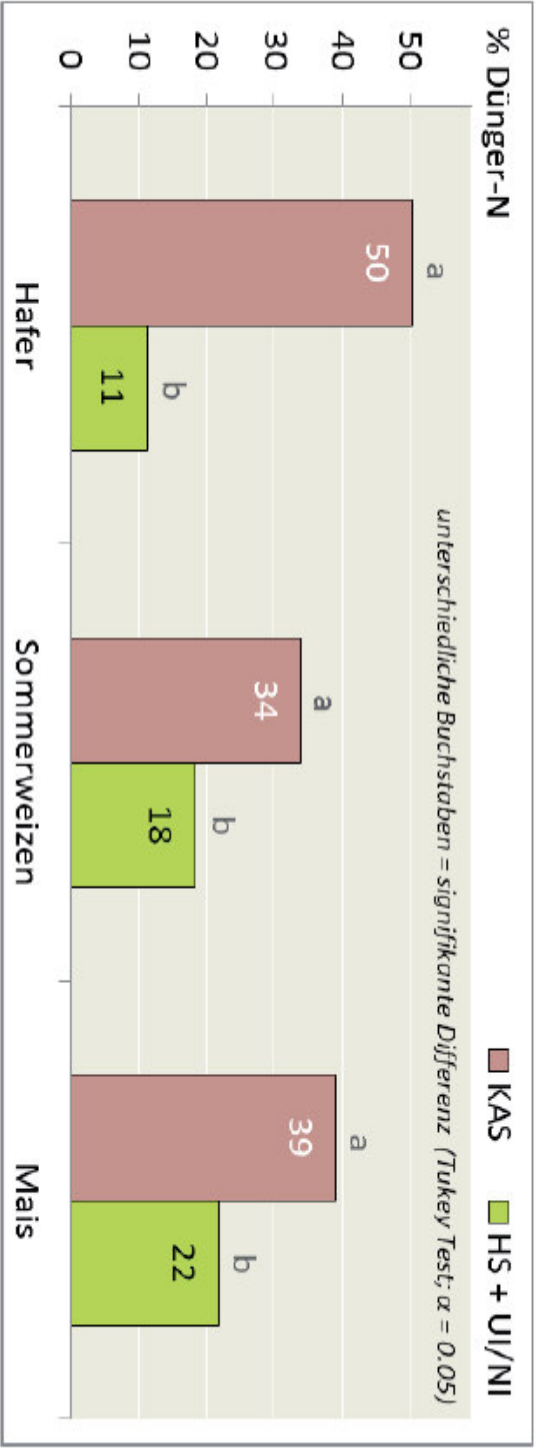


Abb. 2: Dünger-N-Verluste durch Nitratauswaschung aus KAS und HS + UI/NI (3 GV mit Hafer, Sommerweizen, Mais)

Absenkung der Ammoniak-Verluste durch Hranstoff-Düngung mit Urease- und Nitrifikations-Inhibitor (KREUTER et al., 2017)

Tab. 3: NH₃-Verluste nach Düngung von HS und HS + UI/NI in praxisnahen Feldversuchen mit WW und W-Raps

	NH ₃ -Verluste(kg ha ⁻¹ Dünger-N)-			
	WW2013	WW2014	W-Raps2015	W-Raps2016
HS	28,7	25,2	1,06	0,98
HS+UI/NI	4,7*	11,5*	0,42*	0,12*
HSD	3,41	3,16	0,27	0,14

* signifikante NH₃-Verlustminderung gegenüber HS (Tukey Test; α = 0,05)

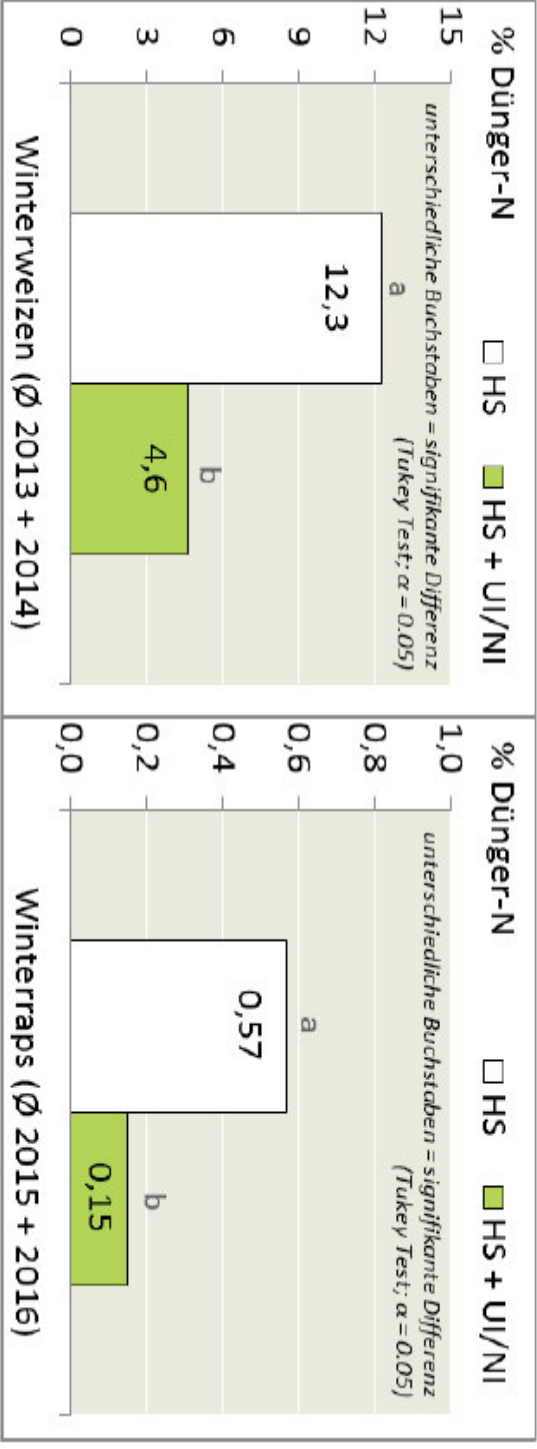


Abb. 3: NH₃-N-Verlustraten (%) für HS und HS + UI/NI in praxisnahen Feldversuchen mit WW und W-Raps

Reduzierung der Lachgas-Emissionen aus dem Boden unter Raps durch den Einsatz von UI- und NI-Hemmern (KREUTER et al., 20017)

Tab. 4: N₂O-Emissionen in den Messperioden 2015 (23.2.-15.9.) und 2016 (26.2-15.8.) im Gesamtzeitraum und bis zu Blüte in praxisnahen Feldversuchen mit W-Raps

	N ₂ O-Verlust (kg ha ⁻¹ N)			
	Feb.-Sep. 2015	bis Mitte Blüte 2015	Feb.-Aug. 2016	bis Mitte Blüte 2016
ohne N	0,57	0,04	0,27	0,01
HS	1,15	0,09	0,70	0,32
HS + UI/NI	1,19	0,04	0,44*	0,07*
HSD	1,07	0,07	0,24	0,17

* signifikante N₂O-Verlustminderung gegenüber HS (Tukey Test; $\alpha = 0,05$)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Ihre Ansprechpartner in der Arbeit der Gewässerschutz-
Kooperationen Teil Stickstoff-Management:

MSc L. Sattler 01 71/7628015 l.sattler@jenabios.de

MSc M. Müller 0160/96627762 m.mueller@jenabios.de

Dr. agr. Th. Werner 0160/2867090 t.werner@jenabios.de